

Εκτίμηση της εδαφικής απόκρισης και των επιπτώσεων του σεισμού του Αιγίου το 1995 στην περιοχή Βαλιμήτικα.

Assessment of ground response and its consequences in Valimitika, as a result of the Aegion 1995 earthquake

ΚΟΥΝΤΟΥΖΗΣ Π.
ΣΤΑΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ Κ.
ΜΥΛΩΝΑΚΗΣ Γ.

Σπουδαστής, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
Διδάσκων, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Ισαύρων 5, 11471, Αθήνα
Διδάσκων, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πανεπιστήμιο Πατρών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Μελετάται η εδαφική απόκριση στο οικόπεδο του ξενοδοχείου «Ελίκη» κατά το σεισμό του Αιγίου του 1995. Από τις τιμές της φασματικής επιτάχυνσης που προέκυψαν και τη σύγκριση αυτών με τα φάσματα του κανονισμού του 1959, βάσει του οποίου διαστασιολογήθηκε το κτίριο, προκύπτει ότι οι δυνάμεις που αναπτύχθηκαν στο κτίριο ήταν πολλαπλάσιες. Αυτό δικαιολογεί την μερική κατάρρευση του κτιρίου. Η καθίζηση λόγω εκτόνωσης των πιέσεων πόρων που αναπτύχθηκαν κατά τον σεισμό ήταν πιθανώς της τάξης μερικών εκατοστών και πιθανώς να συνέβαλε στην κατάρρευση του κτιρίου.

ABSTRACT : The soil response below hotel "Eliki" during the Aegion 1995 earthquake is studied. From the soil response spectra that were estimated and comparison with the 1959 code based on which the building was constructed, indicates that the forces that were exerted in the building were considerably greater. This explains the partial collapse of the building. Ground subsidence as a result of dissipation of excess pore pressures may have been in the order of a few cm and possibly contributed in the collapse of the building.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάδρομη ανάλυση αστοχιών σε προηγούμενους σεισμούς είναι εξαιρετικά χρήσιμη. Μπορεί να διαπιστωθεί τι εφταίξε για την αστοχία και η πιθανή ανεπάρκεια κανονισμών ή/και γεωτεχνικών ερευνών κατά την κατασκευή. Η παρούσα εργασία αφορά την εκτίμηση της δυναμικής απόκρισης, του κινδύνου ρευστοποίησης και των επιπτώσεων τους, στο ξενοδοχείο «Ελίκη» στην περιοχή «Βαλιμήτικα», 5 km περίπου ανατολικά της πόλης του Αιγίου, η ανατολική πτέρυγα του οποίου κατέρρευσε κατά τη διάρκεια του σεισμού (Σχ. 1).

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ

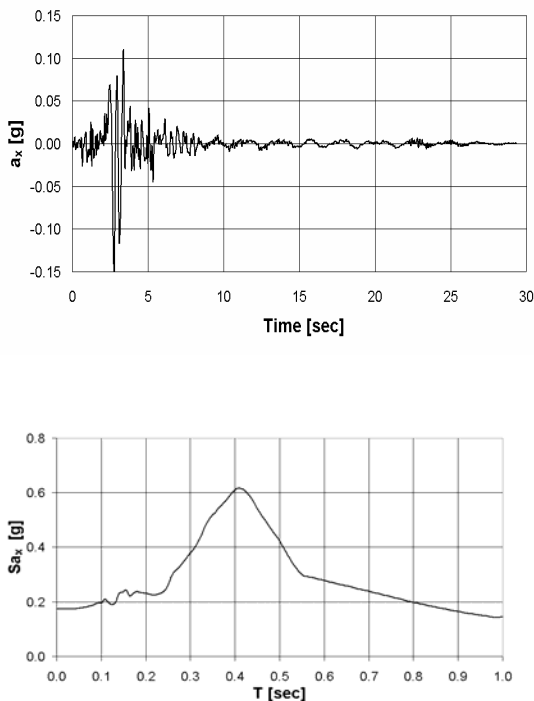
Στις 15 Ιουνίου 1995 και ώρα 03:16 π.μ, σεισμός μεγέθους 6.1R έπληξε την ευρύτερη

περιοχή της Αιγιαλίας. Το επίκεντρό του τοποθετήθηκε στο θαλάσσιο χώρο του Κορινθιακού Κόλπου (38.37N,22.15E) μεταξύ του Αιγίου και της Ερατεινής (Bouckovalas, et al. 1999). Το μόνο επιταχυνσιογράφημα που βρισκόταν σε λειτουργία τη στιγμή του κυρίως σεισμού, ήταν εγκατεστημένο στο ισόγειο ενός διωρόφου με υπόγειο, κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα (κτίριο του Ο.Τ.Ε). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ως σεισμική ένταση η μια οριζόντια συνιστώσα της επιτάχυνσης, από τις δύο που καταγράφηκαν. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την διεθνή πρακτική χρησιμοποιήθηκε στον υποκείμενο βράχο της υπό εξέταση περιοχής το επιταχυνσιογράφημα που υπολογίστηκε με ανάδρομη ανάλυση στον υποκείμενο βράχο στη θέση του κτιρίου του ΟΤΕ (Stamatoroulos et al., 2007), και φαίνεται στο σχήμα Σχ. 2.



Σχ. 1. Κατάρρευση της κεντρικής πτέρυγας του ξενοδοχείου «Ελίκη», κατά το σεισμό της 15/06/95.

Fig. 1. Collapse of the central part of hotel "Eliki", during the earthquake of 15/06/95.



Σχ. 2. Η σεισμική διέγερση που υπολογίσθηκε με ανάδρομη ανάλυση (Stamatoropoulos et al., 2007), και χρησιμοποιήθηκε στο υπόβαθρο στην υπό εξέταση περιοχή.

Fig. 2. The seismic excitation that was estimated by deconvolution (Stamatoropoulos et al., 2007), and was applied at the base of the region studied.

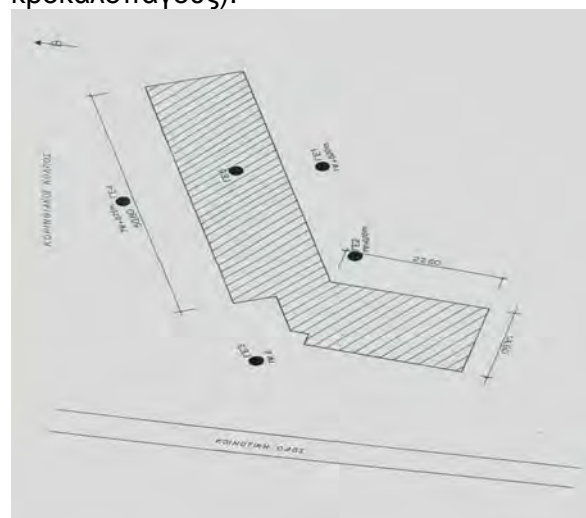
3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Για τη διερεύνηση των αιτιών κατάρρευσης τμήματος του ξενοδοχείου πραγματοποιήθηκαν πέντε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις από το ΥΠΕΧΩΔΕ (1996) στις θέσεις του Σχ.

3. Το κτίριο βρίσκεται περίπου 20m από την ακτογραμμή και ο υδροφόρος ορίζοντας βρέθηκε σε βάθος 1.6m. Ο αριθμός κρούσεων N_{SPT} που μετρήθηκε σε όλες τις γεωτρήσεις με το βάθος δίδεται Στο Σχ. 4. Οι εδαφικές στρώσεις που διαπιστώθηκαν από την επιφάνεια είναι:

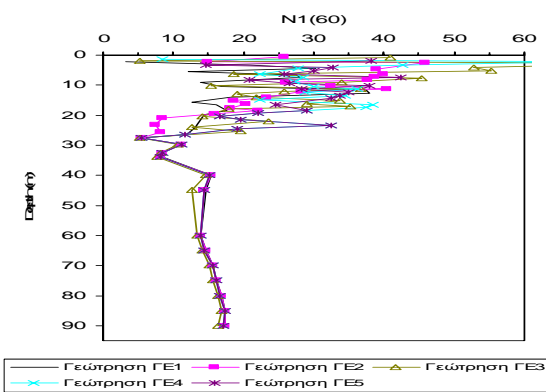
- (α) Αμμώδεις αργιλοίλυες (CL) με παρεμβολές αμμοιλύος (ML) και άμμου (SC, SM). Η στρώση έχει μέγιστο πάχος 2.20 m. Παρουσιάζει $N_{SPT} = 4-10$, ποσοστό άμμου 39-43% και μέση πλαστικότητα $IP= 7-16$.
- (β) Ιλυώδη αμμοχάλικα (GW-GW)) με ενστρώσεις αμμοιλύος και μικρή παρουσία αμμοχαλικών. Φθάνει μέχρι βάθους 6m περίπου. Περιέχει 3-19% ιλυώδες λεπτόκοκκο κλάσμα και έχει N_{SPT} από 15 έως >50.
- (γ) Ιλυώδης άμμος (SM) με ενστρώσεις αμμοιλύος και μικρή παρουσία αμμοχαλικών. Συναντάται στα βάθη από 5m μέχρι και 25m περίπου και παρουσιάζει: Χαλίκια 0-15%, Άμμο 50-70%. Λεπτόκοκκο 6-42%. Το N_{SPT} κυμαίνεται από 14-45.
- (δ) Αργιλοίλυς μέσης πλαστικότητας (CL, ML). Συναντήθηκε σε βάθος 24m-34,5m.

Σε όλες τις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν δεν συναντήθηκε ο υποκείμενος βράχος. Επειδή η βαθύτερη γεώτρηση στο οικόπεδο του ήταν σε βάθος 30m., για μεγαλύτερα βάθη, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία γεωτρήσεων (N_{SPT}) από το πειραματικό πεδίο CORSSA (Ktenidou, et al., 2008), που βρίσκεται στο κατάντη τμήμα της πόλης του Αιγίου και αφορούν βάθη έως 180m, όπου συναντήθηκε το βραχώδες υπόβαθρο (στρώση κροκαλοπαγούς).



Σχ. 3. Τοπογραφικό διάγραμμα με τις θέσεις των γεωτρήσεων (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1996).

Fig. 4. Topographic sketch with the location of the borings.



Σχ. 4. Ο αριθμός κρούσεων N_{SPT} που μετρήθηκε στις γεωτρήσεις (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1996)

Fig. 4. The SPT blow count measured in the borings.

4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το ξενοδοχείο “Ελίκη”, ήταν ένα τετραώροφο κτίριο, με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Διέθετε ένα προσάρτημα στην τελευταία στάθμη, μικρό τμήμα του οποίου βρισκόταν στην πτέρυγα που κατέρρευσε. Το ξενοδοχείο σχεδιάστηκε το 1971, με τον κανονισμό του 1959 και αποτελούνταν από τρεις πτέρυγες. Δεν διέθετε υπόγειο. Η θεμελίωση του κτιρίου ήταν του τύπου γενικής κοιτόστρωσης και σε βάθος περίπου 1.50m, (Κ.Ε.Δ.Ε, 1996).

Η δεσπίζουσα περίοδος (T) ταλάντωσης του κτιρίου εκτιμήθηκε με τις παρακάτω σχέσεις: Α) $T = 0,1 N$, όπου N είναι ο αριθμός των ορόφων του κτιρίου. Β) $T = 0,075 h^{0,75}$ (Κολιόπουλος και Μανώλης, 2003) όπου h είναι το ύψος του κτιρίου. Γ) $T = 0,09 (H / L^{0,5}) (H / (H + r L))^{0,5}$ (ΟΑΣΠ, 1999) όπου H είναι το ύψος του κτιρίου, L το μήκος του κτιρίου κατά τη θεωρούμενη διεύθυνση υπολογισμού και r ο λόγος της επιφάνειας των διατομών των τοιχωμάτων προς τη συνολική επιφάνεια τοιχωμάτων και υποστυλωμάτων. Επειδή $N=4$, $H=12m$, $L_x=28,30$, $L_y = 14,60m$ και $r=0$, η μεθοδολογία Α) δίδει $T=0,40s$, η Β) δίδει $T=0,48s$ και η Γ) δίδει $T_x = 0,20sec$ και $T_y = 0,28s$.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ

Πρώτα, η σεισμική απόκριση υπολογίσθηκε με

μονοδιάστατη - ισοδύναμη γραμμική ελαστική ανάλυση. Το πρώτο πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή που δημιουργήθηκε για την εκτέλεση αυτών των αναλύσεων είναι το SHAKE (Schnabel et al., 1972). Άλλα προγράμματα πιο φιλικά στον χρήστη έχουν πρόσφατα διαμορφωθεί που εκτελούν την ίδια διαδικασία, όπως το πρόγραμμα EERA (Bardet et al., 2002), που λειτουργεί σε περιβάλλον Windows EXCEL. Έγινε έλεγχος των αποτελεσμάτων των δύο προγραμμάτων και διαπιστώθηκε ταύτιση αυτών Στη συνέχεια και για λόγους χρηστικούς όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα EERA.

Οι παράμετροι που πρέπει να οριστούν και επηρεάζουν την λύση είναι: α) η θέση του βραχώδους υποβάθρου, β) η ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών σεισμικών κυμάτων V_s και η πυκνότητα του εδάφους με το βάθος, γ) η μεταβολή του μέτρου διάτμησης και του συντελεστή απόσβεσης με τη διατμητική παραμόρφωση και δ) η σεισμική διέγερση.

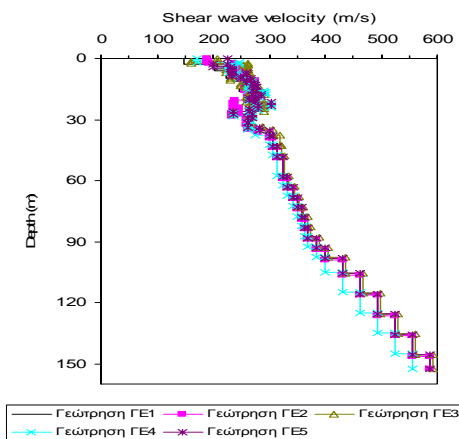
Όσον αφορά το σεισμικό υπόβαθρο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω σε όλες τις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν δεν συναντήθηκε ο υποκείμενος βράχος. Επειδή η βαθύτερη γεώτρηση στο οικόπεδο του ήταν σε βάθος 30m., εκτελέστηκαν μια σειρά από παραμετρικές αναλύσεις (5) μεταβάλλοντας τη θέση του βραχώδους υποβάθρου. Έτσι θεωρήθηκε ότι το βραχώδες υπόβαθρο βρίσκεται στα 30m, 61m, 91m, 125m, 155m. Για βάθη μεγαλύτερα από τα 30m, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία γεωτρήσεων (N_{SPT}) από το πειραματικό πεδίο CORSSA.

Ο προσδιορισμός του V_s , έγινε έμμεσα από εμπειρικές συσχετίσεις του V_s το N_{SPT} . Σύμφωνα με τον Kramer (1996), για άμμους χρησιμοποιήθηκε η σχέση που έχει προταθεί από τους Seed H. B., Wong R. T., Idriss I. M., Tokimatsu K. το 1986 $\{G_{max} = 20000 (N_{1-60})^{0,33} (\sigma'_m)^{0,5}\}$ όπου G_{max} είναι το ελαστικό μέτρο διάτμησης σε lb/ft^2 και σ'_m είναι η ενεργός οκταεδρική τάση σε lb/ft^2 . Για να υπολογισθεί η σ'_m θεωρήθηκε συντελεστής πλευρικής τάσης K ίσος με 0.5. Για αργίλους μικρής πλαστικότητας και κανονικά στερεοποιημένες χρησιμοποιείται η σχέση που έχει προταθεί από τον Weiler το 1988 $G_{max}=1100 S_u$, όπου S_u είναι η αστράγγιστη αντοχή και ισούται με $S_u=0.24\sigma'_v$. Βάσει των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων, το ειδικό βάρος του εδάφους ελήφθη ως $1.9T/m^3$. Η μεταβολή της ταχύτητας με το βάθος και για τις 5 γεωτρήσεις που υπολογίσθηκε βάσει των παραπάνω σχέσεων

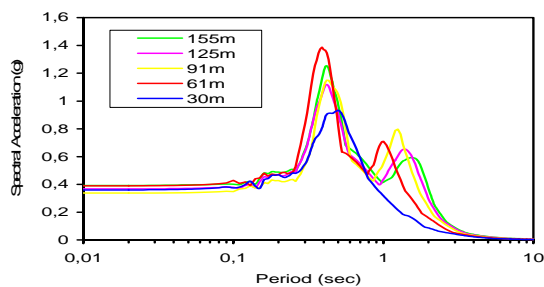
απεικονίζεται στο Σχ. 5. (υπενθυμίζουμε ότι $V_s = (G_{max}/\rho)^{1/2}$).

Η μεταβολή του μέτρου διάτμησης και του συντελεστή απόσβεσης με την παραμόρφωση, έγινε με τις ευρέως χρησιμοποιούμενες και αποδεκτές καμπύλες G-γ α) για άμμο των Seed και Idriss του 1970, β) για άργιλο των Seed και Sun του 1989, και D-γ για άμμο και άργιλο του Idriss το 1990 (Kramer, 1996). Η σεισμική διέγερση που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2, φαίνεται στο Σχ. 2.

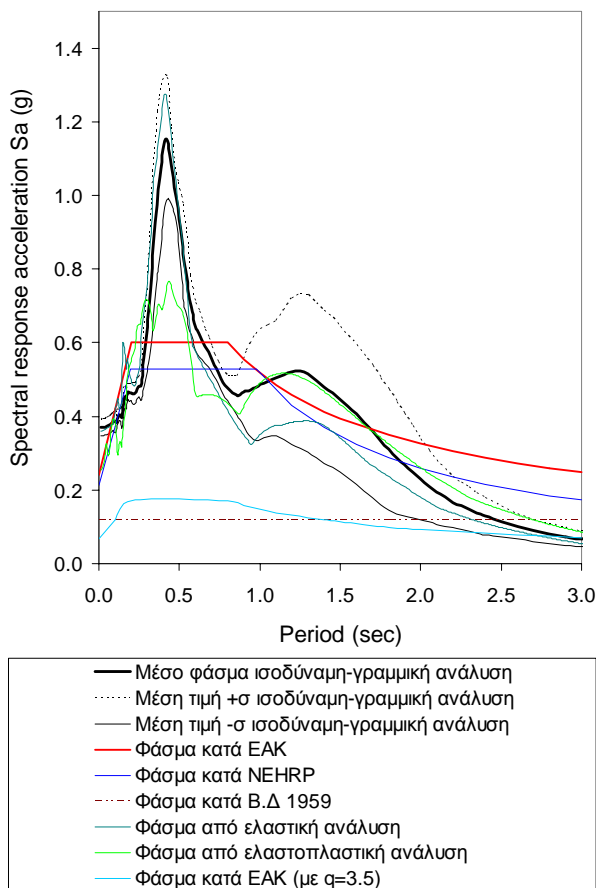
Για οικονομία στον χώρο, και επειδή τα αποτελέσματα των 5 γεωτρήσεων ήταν παρόμοια, θα παρουσιαστούν λεπτομερώς μόνον τα αποτελέσματα μία γεώτρησης. Ειδικότερα, λόγω της θέσης της μέσα στο κτίριο που κατέρρευσε (Σχ. 3), θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της γεώτρησης 5. Στο Σχ. 6 απεικονίζονται τα υπολογισθέντα φάσματα της επιτάχυνσης στην επιφάνεια, για κάθε μια από τις παραμετρικές αναλύσεις (βάθη βραχώδους υποβάθρου 30m.-155m). Στο Σχ. 7 παρουσιάζεται ο μέσος όρος με την τυπική απόκλιση των τιμών. Στο Σχ. 8 παρουσιάζεται η υπολογισθείσα μεταβολή της μέγιστης επιτάχυνσης με το βάθος, για κάθε μια από τις παραμετρικές αναλύσεις. Παρατηρήθηκε ότι αυτή η μεταβολή με το βάθος γενικά συμφωνεί με την σχέση (και το εύρος) της μεταβολής του συντελεστή r_d με το βάθος που δίδεται από τους Seed and Idriss (1971) και της εμπειρικής σχέσης του Ishihara (Ishihara, 1996). Τέλος, το Σχ. 9 παρουσιάζει την μεταβολή της μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης με το βάθος.



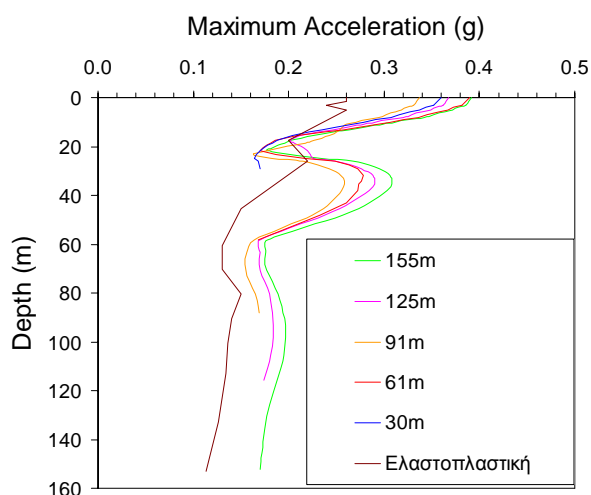
Σχ. 5. Η μεταβολή της ταχύτητας V_s με το βάθος.
Fig. 5. Variation of the velocity V_s with depth



Σχ. 6. Γεώτρηση ΓΕ5. Φασματικές επιταχύνσεις στην επιφάνεια, για κάθε μια από τις παραμετρικές αναλύσεις
Fig. 6. Boring GE5. Spectral acceleration at level ground for each of the parametric studies.

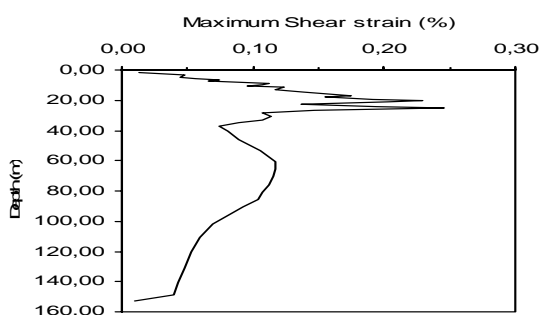


Σχ. 7. Γεώτρηση ΓΕ5. Σύγκριση φασμάτων στην επιφάνεια
Fig. 7. Boring GE5. Comparison of the spectra at level ground



Σχ. 8. Γεώτρηση ΓΕ5. Ισοδύναμη-ελαστική μέθοδος. Μεταβολή της μέγιστης επιτάχυνσης με το βάθος, για κάθε μια από τις παραμετρικές αναλύσεις

Fig. 8. Boring GE5. Equivalent-linear method. The maximum acceleration versus depth for each of the parametric studies



Σχ. 9. Γεώτρηση ΓΕ5. Βάθος βράχου 155m. Ισοδύναμη-ελαστική μέθοδος. Μεταβολή της μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης με το βάθος.

Fig. 9. Boring GE5. Depth of rock 155m. Variation of the maximum shear strain with depth.

Συνοπτικά, για όλες τις γεωτρήσεις τα αποτελέσματα έδωσαν ότι (α) ο λόγος $\alpha_{\max(\text{κορυφή})} / \alpha_{\max(\text{βράχο})}$, για την πλησιέστερη στην επιφάνεια θεώρηση του βραχώδους υποβάθρου (30m), λαμβάνει τιμές από 1,82-2,16, μεγιστοποιείται στο βάθος των 61m, όπου λαμβάνει τιμές από 2,31-2,56 και στη συνέχεια μειώνεται με μια τάση σταθεροποίησης σε τιμές από 2,00-2,34. (β) Όσο αφορά την δεσπόζουσα περίοδο της ταλάντωσης, T_{kr} , λαμβάνει τις μέγιστες τιμές (0,51sec), για την θεώρηση βράχου στα 30m, ενώ για μεγαλύτερα βάθη μειώνεται με τάση σταθεροποίησης στα 0,42sec για βάθη $\geq 91m$.

Τέλος, όσο αφορά το λόγο $S_{a(T=T_{kr})} / S_{a(T=0)}$, για θεώρηση του βράχου στα 30m λαμβάνει τις τιμές 2,05-2,77, μεγιστοποιείται για το βάθος των 61m, λαμβάνοντας τιμές από 3,41-3,56 και εξομαλύνεται για βάθη $\geq 125m$ στις τιμές από 2,64-3,20.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΠΛΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ

Η χρήση των μοντέλων βασισμένων στην ελαστοπλαστική θεωρία είναι προτιμητέα από την ισοδύναμη-γραμμική επειδή προσεγγίζουν ακριβέστερα την συμπεριφορά του εδάφους, ιδιαίτερα για σημαντικές παραμορφώσεις, που όπως φαίνεται στο Σχ. 10, έλαβαν χώρα στην παρούσα διέγερση. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται το πρόγραμμα CyberQuake (BRGM Software, 1998) που εφαρμόζει το ελαστοπλαστικό μοντέλο

$$\gamma^p = \gamma^p (\tan \phi_{cs} + \tau / \sigma') \quad \text{για } \gamma^p > \gamma_{mob} \quad (2)$$

$$\gamma^p = F \tan \phi_{cs} [\gamma^p / (\tan \phi_{cs} / E_p + \gamma^p)]^{0.5}$$

όπου

$$F = 1 - b \ln (\sigma' / \sigma_c)$$

$$\sigma_c = \sigma_{co} \exp (-\beta \varepsilon_v^p)$$

όπου τ και σ' είναι η διατμητική και ορθή ενεργός τάση σε επιφάνεια διάτμησης. Το μοντέλο έχει έξι παραμέτρους: ϕ_{cs} , σ_{co} , E_p , b , β , γ_{mob} . Η παράμετρος ϕ_{cs} είναι η γωνία τριβής στην κρίσιμη κατάσταση (δηλαδή σε τεράστια παραμόρφωση) και σ_{co} είναι η ενεργός ορθή τάση στην κρίσιμη κατάσταση στην αρχική πυκνότητα του εδάφους. Η παράμετρος γ_{mob} είναι η ελάχιστη πλαστική διατμητική παραμόρφωση κατά την οποία αρχίζει η πλαστική ογκομετρική παραμόρφωση. Οι παράμετροι E_p , b , β είναι αδιάστατοι και εξαρτώνται μόνον από τον τύπο του εδάφους.

Οι Modaressi and Lopez-Caballero (2001) δίδουν τυπικές τιμές των έξι παραμέτρων του μοντέλου συναρτήσει της πυκνότητας της άμμου, του δείκτη πλαστικότητας και λόγου του προστεροποίησης (OCR) της αργίλου. Οι Modaressi and Lopez-Caballero (2001) δείχνουν ότι οι παραπάνω σχέσεις και παράμετροι προβλέπουν (α) την επίδραση της πυκνότητας στην συμπεριφορά της άμμου (βάσει του συντελεστού F) και (β) την μείωση του «ισοδύναμου» μέτρου διάτμησης με την ασκούμενη διατμητική παραμόρφωση συναρτήσει του δείκτη πλαστικότητας του εδάφους, όπως προβλέπεται από τις σχέσεις

των Ishibashi and Zhang (1993). Στην παρούσα εργασία οι παράμετροι του προσομοιώματος ελήφθησαν βάσει των παραπάνω, και σύμφωνα με τον πίνακα 1.

Για την καλύτερη εποπτεία και έλεγχο των αποτελεσμάτων της ελαστοπλαστικής ανάλυσης πραγματοποιήθηκε και ελαστική ανάλυση, θεωρώντας δηλαδή ότι η εδαφική στήλη συμπεριφέρεται ως ελαστικό μέσο. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις, το βραχώδες υπόβαθρο θεωρήθηκε στο μεγαλύτερο βάθος, από αυτό των παραμετρικών αναλύσεων της σοδύναμης γραμμικής ανάλυσης, δηλαδή στα 155m.

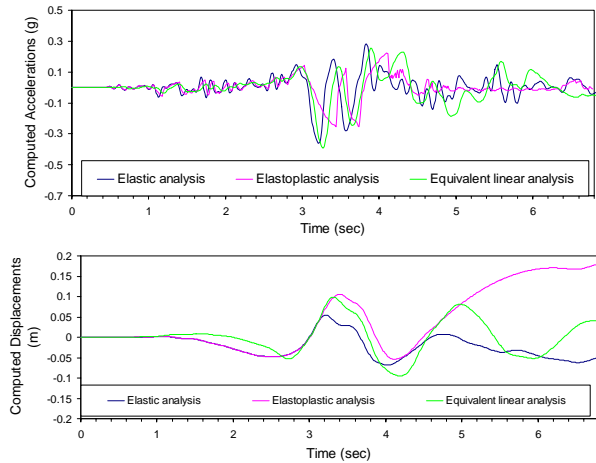
Όπως φαίνεται στο Σχ. 10, και είναι αναμενόμενο, τα αποτελέσματα της ελαστοπλαστικής ανάλυσης δίνουν μικρότερες επιταχύνσεις, και μεγαλύτερες μετακινήσεις, από την γραμμική ανάλυση, λόγω της έναρξης της αστοχίας. Δίδουν επίσης μικρότερες επιταχύνσεις, και μεγαλύτερες μετακινήσεις, από την ισοδύναμη-γραμμική ανάλυση. Επίσης, επεβεβαιώθηκε ότι το προσομοίωμα προβλέπει τις καμπύλες G-γ και D-γ, που αναφέρονται στην βιβλιογραφία. Το Σχ. 8 δίδει την μεταβολή της μέγιστης επιτάχυνσης συναρτήσει του βάθους που υπολογίστηκε με την ελαστο-πλαστική ανάλυση.

Τέλος, το Σχ. 7 δίδει την φασματική επιτάχυνση που υπολογίστηκε με την ελαστικο-πλαστική ανάλυση.

Πίνακας 1. Τιμές των παραμέτρων του ελαστικο-πλαστικού προσομοιώματος που χρησιμοποιήθηκαν.

Table 1. Values of the parameters of the elasto-plastic model that were used.

	Άμμος	Χάλικες	Άργιλος
ϕ	30	30	25
β	40	40	10
σ_0/σ_{c0}	2.2	3	3
E_p	150	120	250
γ_{mob}	0.01	0.01	0.001
b	0.1	0.1	1



Σχ. 10. Γεώτρηση ΓΕ5. Βάθος βράχου 155m. Σύγκριση χρονιοιστοριών μετακίνησης και επιτάχυνσης ανάμεσα στις διάφορες μεθόδους.

Fig. 10. Boring GE5. Depth of rock 155m. Comparison of acceleration time histories of the different methods.

7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΑΚΟΛΟΥΘΗΣ ΣΥΝΙΖΗΣΗΣ

Ο έλεγχος του κινδύνου ρευστοποίησης της συγκεκριμένης θέσης, πραγματοποιήθηκε: α) με την γνωστή μέθοδο δυναμικής ανάλυσης των Seed και Idriss (1971), η οποία βασίζεται στο N_{STP} ως συνάρτηση του βάθους και τις σεισμικές επιταχύνσεις συναρτήσει του βάθους που υπολογίστηκαν με διάφορες μεθόδους και β) ως αποτέλεσμα ελαστοπλαστικής ανάλυσης. Οι υπολογισμοί έδειξαν ότι εμφάνιση ρευστοποίησης πιθανολογείται μόνο στη γεώτρηση ΓΕ1, α) με την απλοποιημένη μέθοδο δυναμικής ανάλυσης και μόνο για την περίπτωση ανάλυσης μέσω του εμπειρικού νομογραφήματος των Seed και Idriss, σε βάθος 9,0m. από την επιφάνεια και Β) με την ελαστοπλαστική ανάλυση σε βάθος 17,2m από την επιφάνεια. Σε όλες τις υπόλοιπες γεωτρήσεις και αναλύσεις, δεν προκύπτει κίνδυνος ρευστοποίησης. Συμπεραίνεται ότι η ρευστοποίηση στο οικόπεδο του ξενοδοχείου εάν έλαβε χώρα κατά τον σεισμό του 1995, ήταν περιορισμένη.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των καθιζήσεων λόγω της εκτόνωσης των υπερπίεσεων πόρων που αναπτύχθηκαν κατά την σεισμική διέγερση είναι των Tokimatsu – Seed (1987) και του Ishihara (1993). Οι υπολογισμοί έδειξαν ότι οι υπολογισμένες καθιζήσεις μέσω του νομογραφήματος του Ishihara, εκτιμώνται

μικρότερες από 1cm. Η εκτίμηση των καθιζήσεων μέσω του νομογραφήματος των Tokimatsu και Seed, καταλήγει σε μεγαλύτερες τιμές καθιζήσεων, της τάξης των 5cm στην γεωτρήση Γ1, ενώ στις άλλες γεωτρήσεις είναι μικρότερες από 2cm. Επίσης, οι καθιζήσεις που προέκυψαν ως αποτέλεσμα της ελαστοπλαστικής ανάλυσης ήταν μικρότερες των 0.1cm.

8. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Το Σχ. 7 δίδει επίσης τα φάσματα σχεδιασμού που προτείνουν ο ισχύων Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ο Κανονισμός του Βασιλικού Διατάγματος του 1959, που ίσχυε την περίοδο κατασκευής του κτιρίου και οι συστάσεις NEHRP, που ισχύουν στις Η.Π.Α. Επισημαίνεται ότι στην περίπτωση των συστάσεων NEHRP, ως μέγιστη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους, λήφθηκαν αυτές που ορίζονται από τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό.

Η σημαντικότερη παράμετρος της ασκούμενης σεισμικής ταλάντωσης που επηρεάζει την τρωτότητα της κατασκευής είναι η μέγιστη τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια και η φαρμακική επιτάχυνση στην δεσπόζουσα περίοδο ταλάντωσης του κτιρίου. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι η γνώση της φασματικής επιτάχυνσης S_w , επιτρέπει, μέσω της σχέσης $\{maxP_a = m \cdot S_w\}$ τον άμεσο υπολογισμό της μέγιστης δυνάμεως αδράνειας που αναπτύχθηκε στο κτίριο, κατά τη διάρκεια του σεισμού.

Στον πίνακα 2 φαίνονται οι μέσες τιμές (για όλες τις γεωτρήσεις) της φασματικής επιτάχυνσης για όλες τις περιπτώσεις σεισμικής ανάλυσης (ελαστοπλαστική, ισοδύναμη γραμμική, ελαστική), καθώς και οι τιμές αυτής όπως καθορίζονται από τα φάσματα σχεδιασμού των αντισεισμικών κανονισμών (Βασιλικού Διατάγματος 59, Ε.Α.Κ, NEHRP). Παρατίθενται επίσης οι μέγιστες επιταχύνσεις που υπολογίστηκαν στην επιφάνεια του εδάφους σε όλες τις γεωτρήσεις, από όλες τις μεθόδους.

Από τις τιμές της φασματικής επιτάχυνσης που προέκυψαν από όλες τις μεθόδους ανάλυσης και τη σύγκριση αυτών με τα φάσματα του κανονισμού του 1959, βάσει του οποίου διαστασιολογήθηκε το κτίριο, προκύπτει ότι οι δυνάμεις που αναπτύχθηκαν στο κτίριο από τον υπό εξέταση σεισμό, ήταν πολλαπλάσιες αυτές του σεισμού σχεδιασμού (Β.Δ/γμα 1959). Αυτό δικαιολογεί την μερική

κατάρρευση του κτιρίου. Σημειώνεται δε ότι οι "πραγματικές" τιμές του κανονισμού του 1959 δεν είναι τόσο διαφορετικές από εκείνες του τρέχοντος κανονισμού, καθώς οι τιμές του τρέχοντος υποδιαιρούνται κατά το σχεδιασμό νέας κατασκευής μέσω του συντελεστή q (Σχ. 7). Από τον πίνακα 2 αξιοσημείωτο είναι το γεγονός των μεγάλων τιμών εδαφικής επιτάχυνσης που προκύπτουν από το νομογράφημα των Seed και Idriss, όπως επίσης και η σχεδόν ταύτιση των τιμών της μέγιστης επιτάχυνσης, που δίδει ο Ε.Α.Κ για τη συγκεκριμένη περιοχή, με αυτή που προέκυψε από το σεισμό της 15^{ης} Ιουνίου 1995, από την ελαστοπλαστική ανάλυση.

Μία ακόμη παράμετρος από την οποία εξαρτάται η τρωτότητα των κτιρίων είναι η καθίζηση λόγω της εκτόνωσης των υπερπίεσεων πόρων που αναπτύχθηκαν κατά την σεισμική διέγερση. Η εκτίμηση των καθιζήσεων μέσω του νομογραφήματος των Tokimatsu και Seed, καταλήγει σε τιμές καθιζήσεων, της τάξης των 5cm, που πιθανώς να συνέβαλαν στην κατάρρευση του κτιρίου.

Πίνακας 2. Μέγιστη επιτάχυνση και μέγιστες φασματικές επιταχύνσεις για διάφορες τιμές της δεσπόζουσας περιόδου στην επιφάνεια, όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις (μέση τιμή από όλες τις γεωτρήσεις) και όπως προκύπτουν από αντισεισμικούς κανονισμούς.

Table 2. Computed (average value from all borings) and given in codes maximum acceleration and maximum spectral acceleration for different spectral periods at the surface

Μέθοδος	amax (g)	Samax (g)			
		$T_o = 0,40s$	$T_o = 0,48s$	$T_o = 0,20s$	$T_o = 0,28s$
Μέση τιμή ισοδύν. γραμμικής ανάλυσης	0.37	1.08	0.96	0.46	0.53
Ελαστική ανάλυση	0.37	1.28	1.05	0.51	0.70
Ελαστο-πλαστική	0.6	0.69	0.66	0.54	0.69
Θεοδου-λιδη	0.20	-	-	-	-
Seed and Idriss	0.52	-	-	-	-
Φάσμα Ε.Α.Κ	0.24	0,60	0,60	0,60	0,60
Φάσμα NEHRP	0.24	0.53	0.53	0.53	0.53
Φάσμα Β. Δ/τος 1959	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Από τις τιμές της φασματικής επιτάχυνσης που προέκυψαν από όλες τις μεθόδους ανάλυσης και τη σύγκριση αυτών με τα φάσματα του κανονισμού του 1959, βάσει του οποίου διαστασιολογήθηκε το κτίριο, προκύπτει ότι οι δυνάμεις που αναπτύχθηκαν στο κτίριο από τον υπό εξέταση σεισμό, ήταν πολλαπλάσιες αυτές του σεισμού σχεδιασμού (Β.Δ/γμα 1959). Αυτό δικαιολογεί την μερική κατάρρευση του κτιρίου. Η εκτίμηση των καθιζήσεων μέσω του νομογραφήματος των Tokimatsu και Seed, καταλήγει σε τιμές καθιζήσεων, της τάξης των 5cm, που πιθανώς να συνέβαλαν στην κατάρρευση του κτιρίου.

Με δεδομένη τη σεισμική απόκριση του εδάφους από την παρούσα εργασία, μπορεί να συνεχιστεί ο έλεγχος της σεισμικής απόκρισης της κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμική αλληλεπίδραση εδάφους – θεμελίωσης – κατασκευής.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bardet J. P., Ichii K., and Lin C. H. (2002). "User's Manual for EERA (A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits, University of South California.
- Bouckovalas, G.B., Gazetas, G. and Papadimitriou, A.G. (1999), Geotechnical aspects of the 1995 Aegion, Greece, earthquake, 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Seco e Pinto, Balkema, Rotterdam.
- BRGM Software (1998). Cyberquake Version 1.1. User's Guide, France.
- European Prestandard (1994). Eurocode 8 - Design provisions of earthquake resistance of structures, Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects.
- Idriss, I. M. and Sun, J. I. (1992) "User's Manual for SHAKE91," Center for Geotechnica Modeling, Department of Civil Engineering, University of California, Davis
- Ishihara K. (1996) Soil behavior in earthquake geotechnics. Oxford University Press, USA
- Ishihara, K. and Yoshimine, M. (1992). "Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes". Soils and Foundations, 32, 173-88.
- Ktenidou O., Pitilakis K, "Aegion Slope: Topographic Effects on Seismic Ground Motion and Effects on Seismic Risk Assessment, In: Landslides: From Mapping to Loss and Risk Estimation", 2007, Ed. Crosta G.B., Frattini P. Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia, IUSS Press, ISBN: 978-88-6198-005-1, pp.81-89.
- Kramer S. L. (1996) "Geotechnical earthquake engineering" Prentice Hall, New Jersey.
- Modaressi A., Caballero F. (2001), "Global methodology for soil behavior identification and its application to the study of site effects", 4th International Conference of Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics" California.
- Schnabel, P. B., Lysmer J., Seed H. B., 1972, "SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites". Report No. EERC 72-12. Earthquake Engineering Research Centre, University of California, Berkeley, California.
- Seed, H. B., Idriss I. M., and Arango I. (1983) "Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 109 (3).
- Stamatopoulos C. , Bassanou M. , Brennan A. J., Madabhushi G. (2007). Effectiveness of anchors in mitigating the seismic motion near the crest of cliff-type topographies, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27, 1082-1100.
- Tokimatsu, K., and Seed H. B. (1987). Evaluation of settlements in sand due to earthquake shaking, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113, No. 8.
- Κολιόπουλος Π., Μανώλης Γ. (2003) «Δυναμική των κατασκευών, σελ 90» - Εγχειρίδιο Μελέτης, ΕΑΠ, Πάτρα 2003.
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) (1999), Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, Σεπτέμβριος
- ΥΠΕΧΩΔΕ, Κεντρικό εργαστήριο Δημοσίων Έργων, (1996) . Γεωτεχνική Έρευνα στο ξενοδοχείο "Ελίκη", Βαλιμίτικα, Αίγιο.